

Simulasi 3D dan Studi Eksperimental Aliran Udara pada Variasi Geometri Menggunakan *Wind Tunnel*

Hendrix Noviyanto Firmansyah, Profit Wirardi, Rizqi Fitri Naryanto dan Karnowo

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang
Sekaran, Gunungpati, Semarang

*E-mail: hendrix@mail.unnes.ac.id

Diajukan: 15-09-2023; Direvisi: 10-12-2023; Dipublikasi: 22-12-2023

Abstrak

Aliran udara laminar memberikan dampak positif bagi benda yang bergerak diudara jika dibandingkan dengan aliran turbulensi. Secara teori, jenis aliran laminar dan turbulensi dapat diketahui dari nilai bilangan *Reynold*, namun tidak bisa dilihat secara visual tanpa ada alat khusus yang menggunakan asap atau kabut. *Wind smoke tunnel* merupakan alat yang dapat digunakan untuk mensimulasikan dan memperlihatkan aliran udara serta benda yang bergerak di dalam aliran udara. Pada penelitian ini dilakukan perancangan awal *wind tunnel* yang akan digunakan untuk melihat visualisasi aliran udara pada variasi bentuk geometri benda. Metode yang dilakukan adalah membuat model dan dipilih berdasarkan distribusi kecepatan dan tekanan. Penggunaan *software Ansys* pada penelitian ini untuk mensimulasikan 4 model *wind tunnel* yang kemudian dipilih yang terbaik dan kemudian dibuat purwarupanya. Model dibuat berdasarkan profil *contraction*, *test section* dan *diffuser* dengan variasi bentuk penampang persegi panjang dan pola lingkaran, serta pola *contraction* yang lurus atau membentuk kurva dari *inlet* sampai *test section*. Hasil simulasi pada 9 titik di *wind tunnel*, memiliki pola yang sama yaitu kecepatan tinggi dengan tekanan yang paling rendah terjadi pada *test section*. Berdasarkan distribusi kecepatan dan tingkat tekanan yang tinggi, dipilihlah model 1 dengan penampang persegi panjang dengan pola *contraction* yang lurus menuju *test section*. Pembuatan purwarupa dengan sistem mudah *disassembly* atau copot pasang menggunakan material yang terbuat dari kayu lapis pada bagian *contraction* dan akrilik pada *test section*. Panjang *wind tunnel* yang dibuat adalah 2 m dengan dimensi seksi uji adalah 50 cm x 30 cm x 20 cm. *Smoke generator* dibuat dengan prinsip menghisap asap pembakaran bahan yang kemudian disalurkan ke *test section* menggunakan selang. Pola aliran udara terlihat bervariasi pada pengujian yang telah dilakukan pada variasi bentuk benda. Visualisasi aliran udara menunjukkan pola aliran yang berbeda dikarenakan bentuk benda, kecepatan aliran udara, sudut benda dengan aliran udara.

Kata kunci: Aerodinamika; aliran udara; *wind tunnel*; *Ansys*; variasi bentuk geometri

Abstract

Laminar air flow has a positive impact on objects moving through the air compared to trubulent flow. In theory, the type of laminar flow and turbulent can be known from the Reynolds number value, but it cannot be seen visually without special tools that use smoke or fog. *Wind smoke tunnel* is a tool that can be used to simulate and show air flows and objects moving in the air flow. In this research, the initial design of a wind tunnel was carried out which will be used to visualize air flow in variations in the geometric shape of objects. The method used is to create a model and is selected based on the distribution of speed and pressure. *Ansys* software was used in this research to simulate 4 wind tunnel models which were then selected as the best and then made a prototype. The model is made based on the contraction profile, test section and diffuser with variations in rectangular cross-sectional shapes and circular patterns, as well as straight or curved contraction patterns from the inlet to the test section. The simulation results at 9 points in the wind tunnel have the same pattern, the high speed with the lowest pressure occurring in the test section. Based on the speed distribution and high pressure level, model 1 was chosen with a rectangular cross section with a straight contraction pattern towards the test section. The prototype was built with a system that is easy to disassemble or disassemble using materials made of plywood in the contraction section and acrylic in the test section. The length of the wind tunnel being made is 2 m with the dimensions of the test section being 50 cm x 30 cm x 20 cm. The smoke generator is made with the principle of sucking in smoke from burning materials which is then distributed to the test section using a hose. Air flow patterns appear to vary in tests that have been carried out on various object shapes. Air flow visualization shows different flow patterns due to the shape of the object, the speed of the air flow, the angle of the object with the air flow.

Keywords: Aerodynamics; airflow; wind tunnels; *Ansys*; geometric shapes variations

1. Pendahuluan

Wind tunnel atau terowongan angin merupakan sarana yang cepat, ekonomis dan akurat untuk melakukan penelitian mekanika fluida dan memperoleh data aerodinamis untuk mendukung keputusan desain. Untuk merancang suatu benda diperlukan simulasi untuk menentukan apakah posisi benda yang diujikan tepat dan ideal berada di ruang uji. Salah satu penelitian yang dilakukan terkait perancangan *wind tunnel* serta simulasi untuk menentukan apakah posisi yang tepat dan ideal di ruang uji penelitian yang relatif hampir sama dengan perancangan *wind tunnel* serta simulasi dengan judul desain terbuka untuk terowongan angin *subsonik loop* terbuka berbiaya rendah untuk pengukuran dan karakterisasi aerodinamik [1]. Penelitian ini dilakukan menggunakan desain terowongan angin *loop* terbuka yang diusulkan dalam pekerjaan ini adalah terowongan angin tipe hisap untuk uji aerodinamik turbin angin dengan kecepatan kerja antara 0 dan 15 m/s. Tahap desain pertama dilakukan dengan pemodelan matematis untuk menentukan dimensi setiap bagian terowongan angin. Bagian kritis dari terowongan angin adalah bagian uji, karena merupakan area untuk menempatkan benda uji. Penentuan tersebut dimaksudkan untuk memprediksi karakteristik aliran, tekanan dan distribusi kecepatan di dalam terowongan angin. Pemodelan matematika mensimulasikan model turbulensi menggunakan komputasi fluida dinamis. Simulasi menemukan bahwa turbulensi relatif tinggi, sekitar 10%. Namun, ditemukan juga bahwa distribusi tekanan dan kecepatan di dalam seksi uji adalah seragam, yang membuat desain yang diusulkan cocok untuk pengukuran aerodinamik.

Aliran fluida dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu: (1) aliran laminar yaitu aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya, (2) aliran transisi yaitu dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, dan (3) aliran turbulen yaitu tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya [3]. Ada banyak cara memahami ilmu mekanika fluida yang mempelajari tentang pergerakan udara dan benda-benda yang bergerak di dalam pergerakan udara tersebut. Pentingnya untuk mengetahui jenis aliran udara dikarenakan berkaitan dengan performa benda yang bergerak di udara. Desain pesawat, kereta api dan mobil juga akan disimulasikan aliran udara yang akan melewatinya [4-7]. Secara teori, jenis aliran tersebut dapat diketahui dari nilai bilangan *Reynold*, namun secara visual tidak bisa tanpa adanya alat. Asap atau kabut dapat digunakan untuk melihat aliran tersebut. *Wind smoke tunnel* merupakan alat yang dapat digunakan untuk mensimulasikan dan memperlihatkan aliran udara serta benda yang bergerak didalam aliran udara. *Wind tunnel* merupakan sebuah struktur tertutup dimana sebuah riset dapat dilakukan didalamnya dengan cara mensimulasikan sebuah kondisi aliran udara pada sebuah model [8].

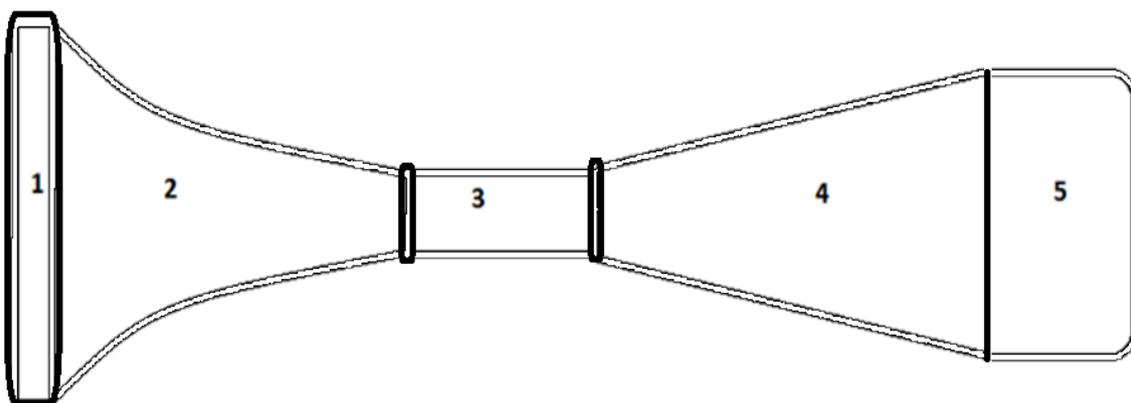
Penggunaan *wind tunnel* menjadi salah satu metode yang paling sering dipakai untuk menginvestigasi pola aliran udara ketika melewati sebuah geometri [8-13]. Hasil dari beberapa penelitian menunjukkan perubahan pola aliran bisa diketahui dengan mengubah parameter kerja dari *wind tunnel* yaitu seperti seting kecepatan udara yang melewati geometri benda kerja yang akan diobservasi [8-13]. Ada beberapa kendala proses visualisasi secara detail dengan penggunaan *wind tunnel* secara langsung. Kendala-kendala tersebut bisa diatasi dengan pemodelan numerik menggunakan *software Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Dengan pemodelan numerik, visualisasi pola aliran dan parameter lainnya sebagai contoh tebal lapis batas, profil tekanan dan profil kecepatan bisa dibuat dengan detail tinggi. Beberapa peneliti sudah menggabungkan kajian eksperimental dengan menggunakan *wind tunnel* dan memvalidasi hasil dengan studi numerik [14-15].

Wind tunnel pada umumnya dibuat secara utuh antar komponennya, sehingga dalam proses perpindahan dan penyimpanan memerlukan ruangan yang besar. Permasalahan ini menjadi salah satu alasan untuk mendesain *wind tunnel* yang mudah dalam proses operasi dan penyimpanan. Untuk mengatasi hal tersebut, pada penelitian ini akan

dirancang *wind tunnel* dengan kemudahan dalam proses pemasangan dan penyimpanan. *Wind tunnel* akan dibuat secara terpisah pada tiap bagian dan kemudian dapat disatukan dengan singkat dan tepat menggunakan *quick release fastener*. *Wind tunnel* yang dibuat memiliki dimensi yang kecil yaitu 2 m dan dimensi seksi uji adalah 50 cm x 30 cm x 20 cm. Proses rancangan akan menggunakan perangkat lunak untuk memberikan geometri dasar *wind tunnel*. *Smoke generator* akan dirancang menggunakan asap atau *dry ice* yang kemudian akan diarahkan ke *wind tunnel*. Benda uji berupa beberapa bentuk geomtri dan ditujukan untuk memperlihatkan adanya variasi aliran udara.

2. Material dan metodologi

Urutan kegiatan pada penelitian ini dimulai dari melakukan identifikasi kebutuhan dalam pembuatan *wind tunnel*. Hasil dari identifikasi merumuskan beberapa hal yang harus dilakukan mulai dari merancang *wind tunnel*, menentukan *fan* dan instrumen yang dibutuhkan serta membuat model dengan variasi bentuk geometri (Gambar 2). Pembuatan *wind tunnel* dilakukan dengan menentukan panjang keseluruhan *wind tunnel* (Gambar 3). Secara umum rencana panjang *wind tunnel* adalah 2 m – 3 m yang dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu *contraction*, *test section* dan *diffuser*. *Contraction* atau nosel adalah bagian paling kritis dalam desain terowongan angin, yang mana merupakan bagian yang memiliki dampak terhadap kualitas aliran udara di *test section*. Tujuan dari *contraction* adalah untuk mempercepat aliran ke ruang uji, mengurangi turbulensi dan ketidakseragaman aliran dalam ruang uji. *Test section* atau ruang uji adalah bagian dari terowongan angin untuk menempatkan model yang akan diuji. Biasanya memiliki ruangan yang transparan, luas penampang terkecil dan kecepatan tertinggi di dalam terowongan. *Diffuser* adalah komponen dari terowongan angin yang berperan untuk mengurangi tekanan dinamis dan mengubahnya menjadi tekanan statis, sehingga mengurangi aliran yang hilang [17- 20]. Ini berkaitan dengan efisiensi terowongan angin [17-20]. Pada bagian depan *contraction* akan ditambahkan *settling chamber* yang terbuat dari rongga yang berbentuk *hollow* atau *honeycomb* yang bertujuan untuk menstabilkan aliran udara sebelum masuk ke *contraction*. Langkah selanjutnya adalah melakukan proses *assembly* dari ketiga bagian tersebut.



Keterangan: 1. *Settling chamber*, 2. *Contraction*, 3. *Test section*, 4. *Diffuser* dan 5. *Axial fan*

Gambar 1. Layout *wind tunnel*

Kebutuhan *fan* dapat dilakukan dengan menghitung debit aliran fluida pada *test section*. Kecepatan aliran udara maksimal pada testing chamber adalah 20 m/s. *Test section* direncanakan memiliki luas area 30 cm x 20 cm sehingga memiliki luas 600 cm².

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Desain Wind Tunnel

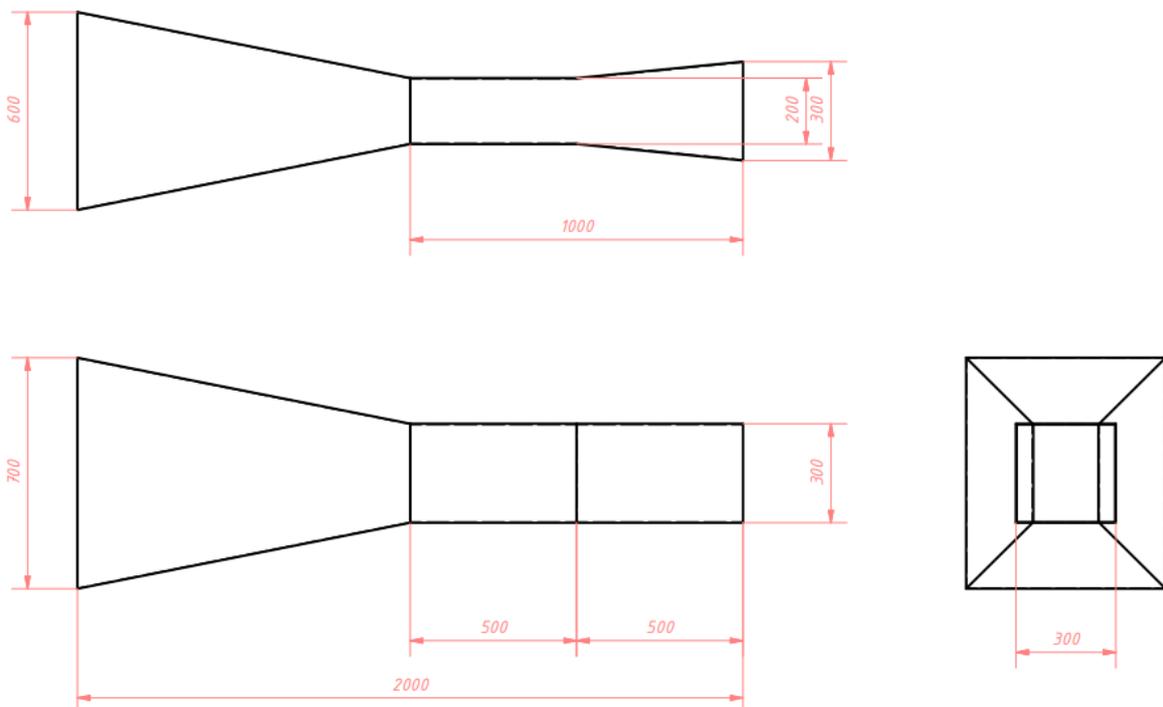
Wind tunnel didesain dengan menggunakan software Autodesk Inventor 2021. Engineering data yang akan digunakan adalah material – material yang digunakan oleh simulasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Engineering Data Material

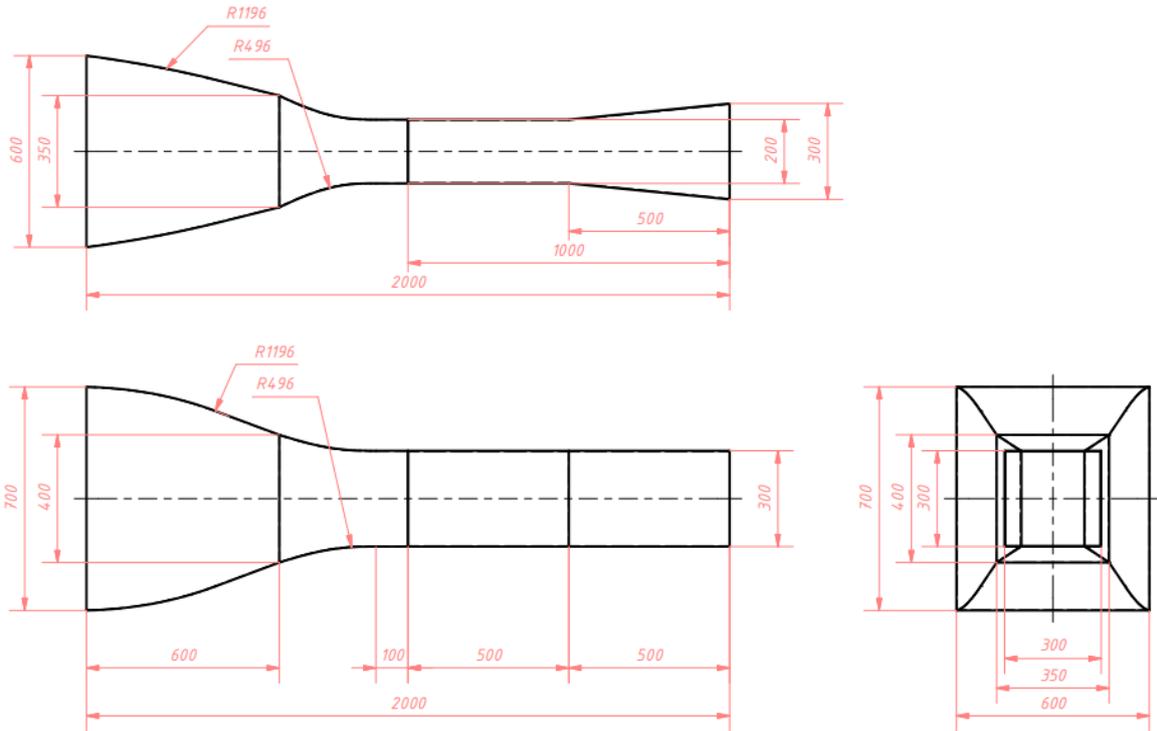
Sifat	Fluida (Udara)	Solid (Plywood)
Densitas (kg/m ³)	1,225	400-700
Viskositas (kg/m.s)	1,7894x10 ⁻⁵	

Dalam melakukan proses prancangan ini terdapat beberapa alternatif pilihan desain, hal tersebut dimaksudkan agar dapat memilih dan menentukan desain yang sesuai kriteria perancangan. Ada 4 alternatif desain yaitu :

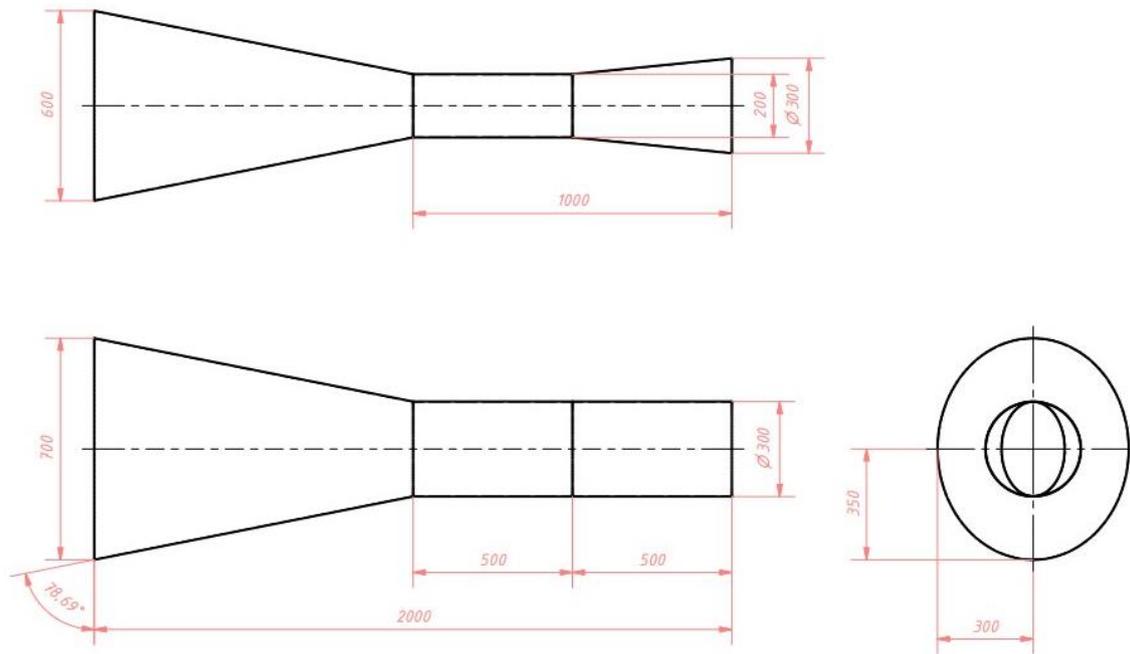
1. Variasi model 1 merupakan model wind tunnel dengan bentuk penampang persegi panjang dengan contraction lurus ke test section (Gambar 2).
2. Variasi model 2 merupakan model wind tunnel dengan bentuk penampang persegi panjang dengan contraction kurva atau melengkung ke test section (Gambar 3).
3. Variasi model 3 merupakan model wind tunnel dengan bentuk penampang lingkaran dengan contraction lurus ke test section.
4. Variasi model 4 merupakan model wind tunnel dengan bentuk penampang lingkaran dengan contraction kurva atau melengkung ke test section.



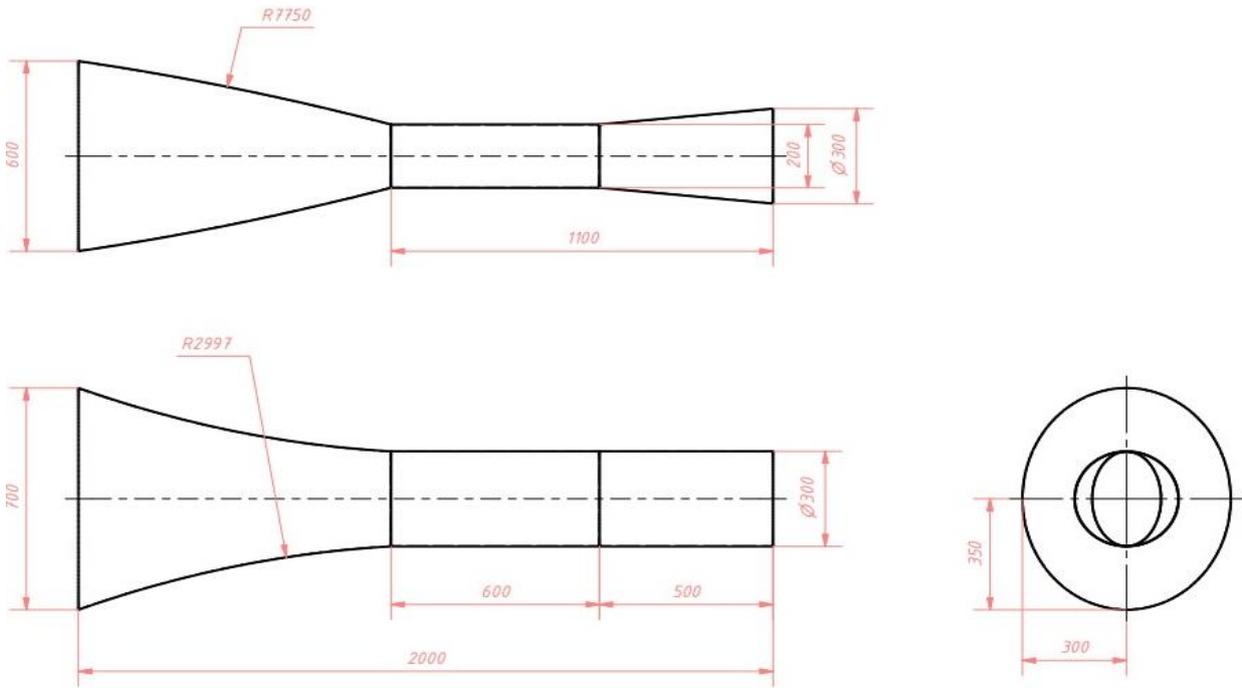
Gambar 2. Variasi desain 1



Gambar 3. Variasi desain 2



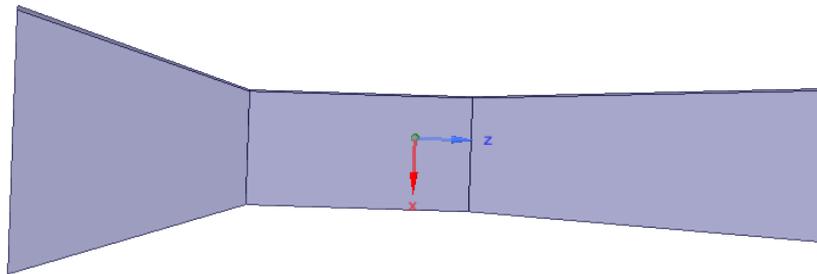
Gambar 4. Variasi desain 3



Gambar 5. Variasi desain 4

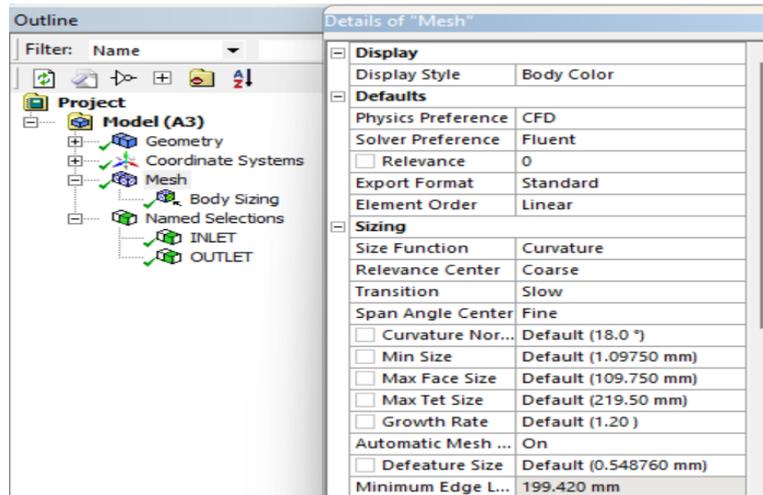
3.2 Pemodelan dan Proses Simulasi

Model yang digunakan adalah geometri *wind tunnel* yang telah dimodifikasi berdasarkan *setup* menyesuaikan keadaan *steady* pada simulasi CFD. Gambar 6 menunjukkan model yang didesain menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2021*.



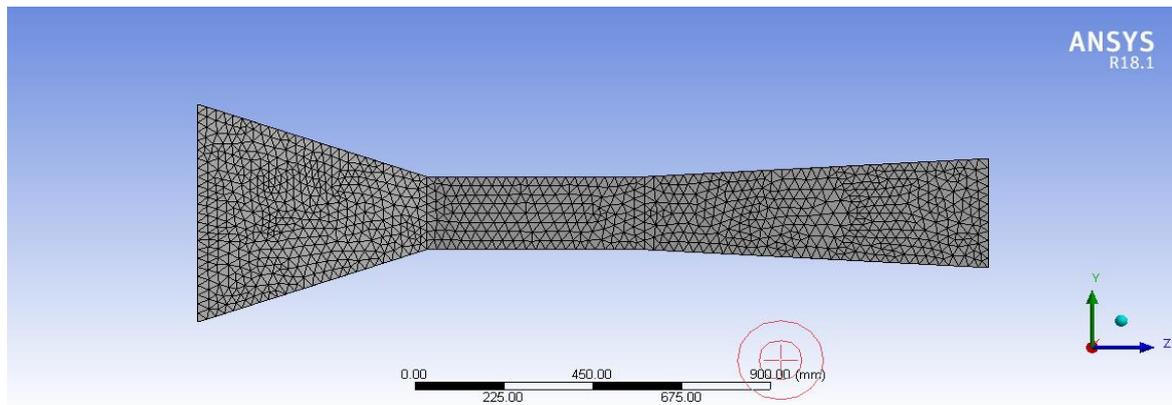
Gambar 6. Geometri 3D *wind tunnel*

Desain *wind tunnel* yang sudah dibuat menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2021* kemudian dimasukkan ke dalam *software Ansys Fluid Flow (Fluent) 2018 R1* untuk proses *meshing* dan simulasi lebih lanjut. Untuk menghasilkan *meshing* yang baik pada simulasi CFD penelitian ini, digunakan *setup* seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan pengaturan *mesh*

Untuk menghasilkan hasil simulasi CFD yang baik diperlukan kualitas *mesh* yang baik. Untuk itu, sebelum dilanjutkan ke proses *solving*, *mesh* yang telah ditentukan perlu dicek terlebih dahulu kualitasnya. Untuk menentukan kualitas *mesh* pada penelitian ini menggunakan acuan nilai *skewness*. Nilai *skewness* yang dihasilkan oleh *meshing* pada geometri *wind tunnel* yang dilakukan disajikan pada Tabel 3. Nilai dari *maximum skewness* kurang dari 1 dan rerata dari *skewness* mengindikasikan bahwa *meshing* yang dilakukan memiliki kualitas yang baik, yaitu *excellent*.



Gambar 8. Hasil *meshing*

Tabel 2. Kualitas *Mesh*

Parameter kualitas <i>mesh</i>	Nilai
<i>Skewnes</i>	-
<i>Minimum</i>	1.6979e-004
<i>Maximum</i>	0.82877
<i>Average</i>	0.21882
<i>Standard Deviation</i>	0.11914
<i>Nodes</i>	24727
<i>Elements</i>	131137

Mesh independent dilakukan untuk menentukan *meshing* yang tepat dan mendapatkan ukuran dan solusi *mesh* yang optimal [20]. Dengan melakukan variasi seperti ukuran elements, kualitas *mesh* dapat dibagi menjadi beberapa sesuai kebutuhan. Jika perbedaan hasil simulasi antar variasi *mesh* kecil, maka simulasi dapat dilakukan menggunakan dengan kualitas yang optimal terhadap daya dan waktu komputasi yang dijangkau komputer.

Tabel 3. *Mesh Independence*

No	Ukuran Mesh	Elemen	Velocity	skewness
1	50	16843	1.732.604	0.228973
2	45	22785	1.722.499	0.227513
3	40	32426	1.714.368	0.228725
4	35	47848	1.747.566	0.223061
5	30	76160	1.738.656	0.221411
6	25	131137	1.747.436	0.218822

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa telah dilakukan enam percobaan *mesh* menggunakan ukuran *element* berbeda dengan kualitasnya masing-masing. Percobaan menggunakan ukuran *mesh* 25 memiliki nilai *skewness* yang paling baik, maka dari itu peneliti menggunakan ukuran *mesh* 25 sebagai ukuran yang digunakan dalam proses penelitian. Setelah kualitas *mesh* sudah baik, Proses simulasi dilaksanakan untuk menyelesaikan permasalahan yang telah didefinisikan sesuai keadaan yang perlu diselesaikan. Proses simulasi diantaranya penentuan *setup*, penentuan *boundary condition*.

3.3 Hasil Simulasi Kecepatan Udara

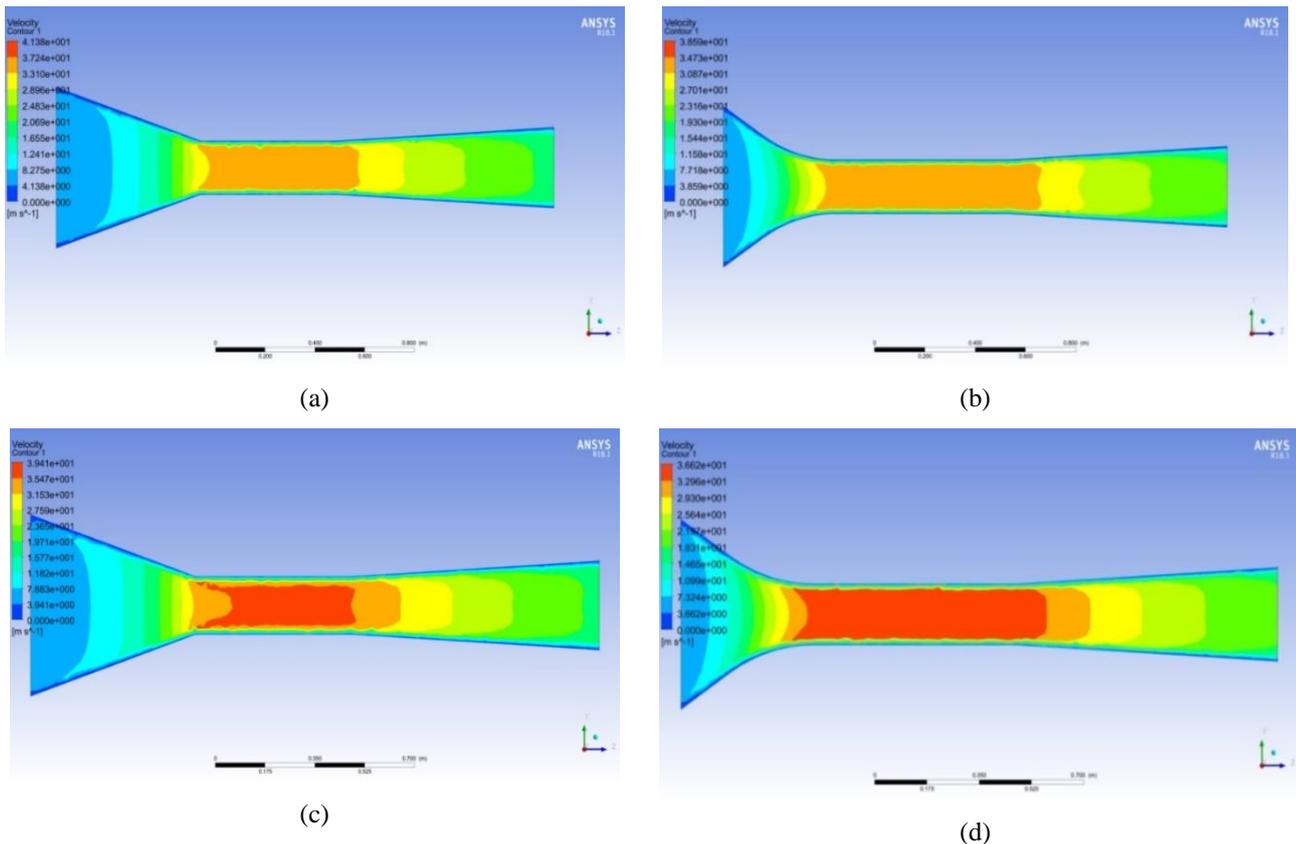
Dari data yang telah didapat melalui proses simulasi CFD menggunakan *software Ansys Fluid Flow (Fluent)* berupa kecepatan di sembilan titik pengukuran. Kecepatan di sembilan titik akan disajikan berupa tabel dan grafik untuk memperlihatkan flutuasi yang terjadi pada sembilan pengukuran. Tabel 4 merupakan data simulasi yang telah dikumpulkan.

Tabel 4. Kecepatan Udara di Sembilan Titik Pengukuran

Variasi	Titik								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	5.821	10.138	17.496	34.896	35.697	35.667	29.291	26.359	22.527
2	7.832	21.111	31.603	34.587	34.793	35.213	28.363	24.851	22.023
3	5.983	10.479	18.040	33.781	35.297	35.109	30.231	26.237	21.807
4	8.472	23.081	33.228	33.849	34.093	33.903	29.662	25.505	21.283

Dari data yang telah didapat melalui proses simulasi CFD menggunakan *software Ansys Fluid Flow (Fluent)*. Pada geometri *wind tunnel* pertama memiliki kecepatan paling tinggi pada titik lima yaitu sebesar 35.697m/s dan kecepatan paling rendah pada titik satu yaitu sebesar 5.821 m/s. Pada geometri *wind tunnel* ke dua memiliki kecepatan paling tinggi pada titik 6 yaitu sebesar 35.213 m/s. Kecepatan terendah pada geometri dua pada titik satu yaitu sebesar 7.832 m/s. Pada geometri *wind tunnel* ke tiga menghasilkan kecepatan tertinggi pada titik 5 yaitu sebesar 35.297 m/s dan

kecepatan terendah pada titik 1 yaitu sebesar 5.983 m/s. Selanjutnya pada geometri empat menghasilkan kecepatan tertinggi pada titik 5 yaitu sebesar 34.093 m/s dan kecepatan terendah pada titik 1 yaitu 8.472 m/s.

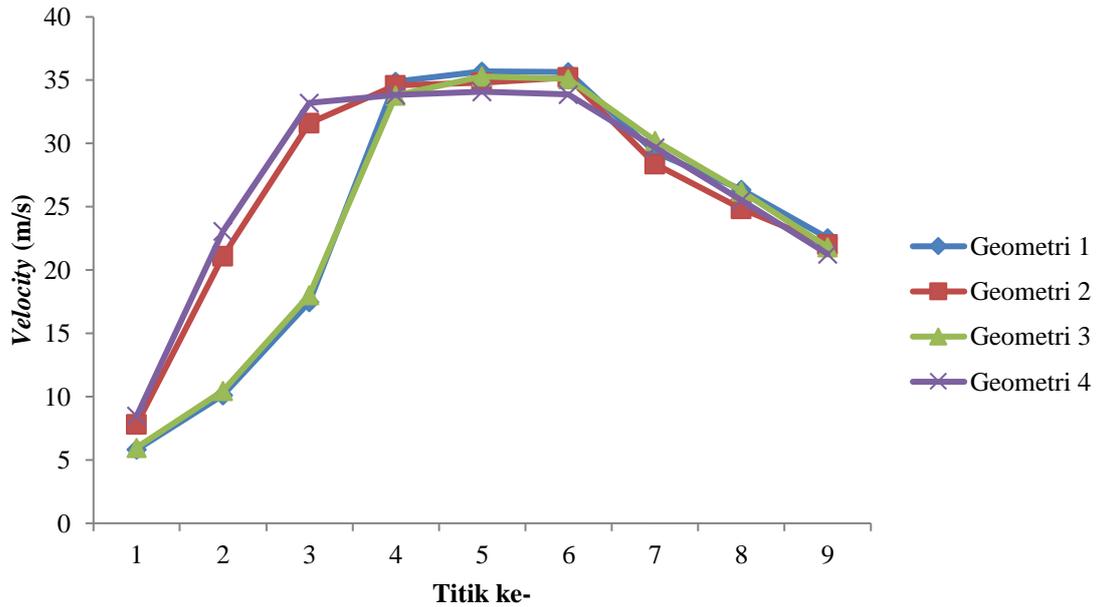


Gambar 9. Kontur kecepatan *wind tunnel*: (a) Variasi model 1, (b) Variasi model 2, (c) Variasi model 3 dan (d) Variasi model 4

Kontur kecepatan pada geometri *wind tunnel* yang ditunjukkan oleh Gambar 9 (a) hingga (d) menjelaskan tentang bagaimana perbedaan kecepatan bergerak dari *contraction* menuju *diffuser*. Pada keempat gambar tersebut dapat dilihat bahwa dari kecepatan dari *contraction* semakin bertambah tinggi, berbanding lurus dengan argument de Almeida [12], kontraksi mempercepat dan menyelaraskan aliran ke bagian uji. Saat memasuki area *test section* kecepatan udara berada pada kecepatan tertinggi, setelah melewati *test section* terlihat penurunan kecepatan yang terletak pada area *diffuser*.

Kecepatan aliran udara dalam *wind tunnel* mempengaruhi aliran udara dari *wind tunnel* itu sendiri. Menurut Ismail [1], aspek kritis dari terowongan angin adalah karakteristik distribusi tekanan dan kecepatan di seksi uji. Kecepatan angin yang lebih tinggi dengan dimensi *test section* yang besar memiliki kualitas aliran yang lebih baik jika di variasikan menggunakan kecepatan yang lebih rendah [21].

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dengan empat variasi geometri *wind tunnel* keempat variasi menunjukkan adanya perbedaan distribusi kecepatan udara yang diukur pada sembilan titik ukur kecepatan udara tertinggi dari keempat geometri berada pada titik area dari *test section*. Hal ini sangat berbanding lurus dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya [22]. Bagian uji memiliki kecepatan maksimum. Pada geometri *wind tunnel* pertama memiliki kecepatan paling tinggi pada titik lima. Pada geometri *wind tunnel* ke dua memiliki kecepatan paling tinggi pada titik 6, pada geometri *wind tunnel* ke tiga menghasilkan kecepatan tertinggi pada titik 5. Selanjutnya pada geometri empat menghasilkan kecepatan tertinggi pada titik 5.



Gambar 10. Grafik kecepatan udara di sembilan titik pengukuran

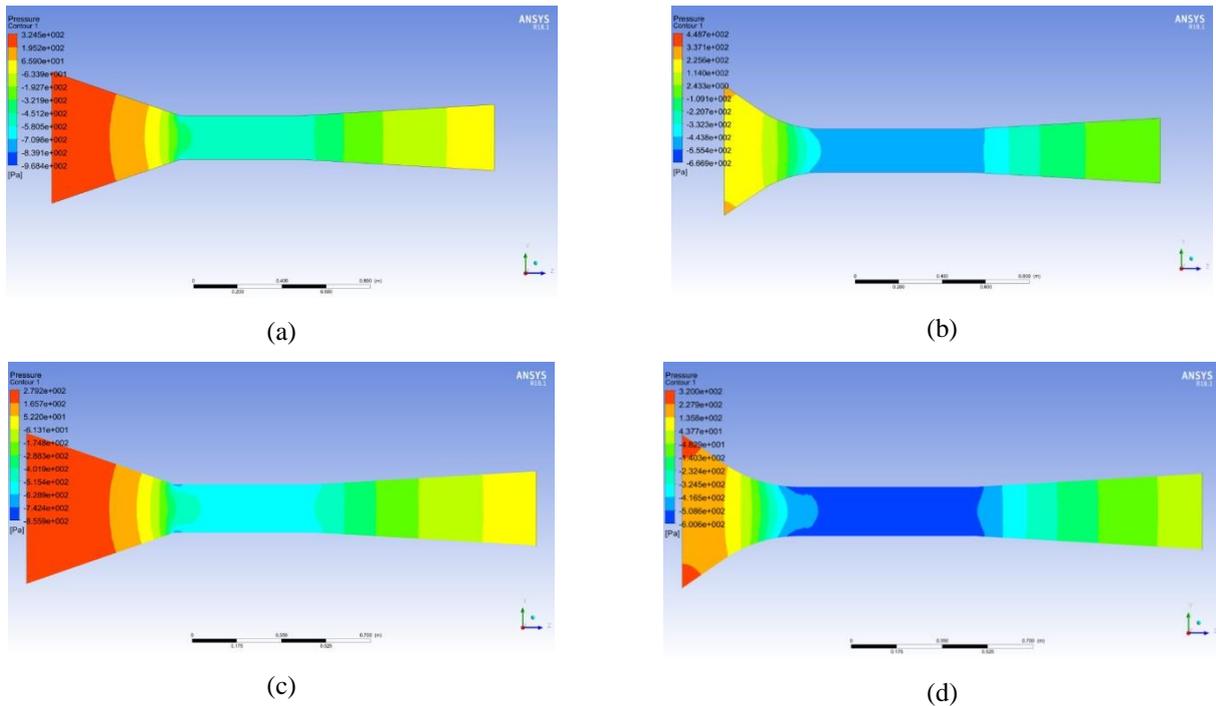
3.4 Hasil simulasi tekanan udara

Dari data yang telah didapat melalui proses simulasi CFD menggunakan *software Ansys Fluid Flow (Fluent)* berupa kecepatan di Sembilan titik pengukuran. Tekanan di sembilan titik akan disajikan berupa tabel dan grafik untuk memperlihatkan flutuasi yang terjadi pada sembilan pengukuran. Tabel 5 merupakan data simulasi yang telah dikumpulkan.

Tabel 5. Tekanan Udara di Sembilan Titik Pengukuran

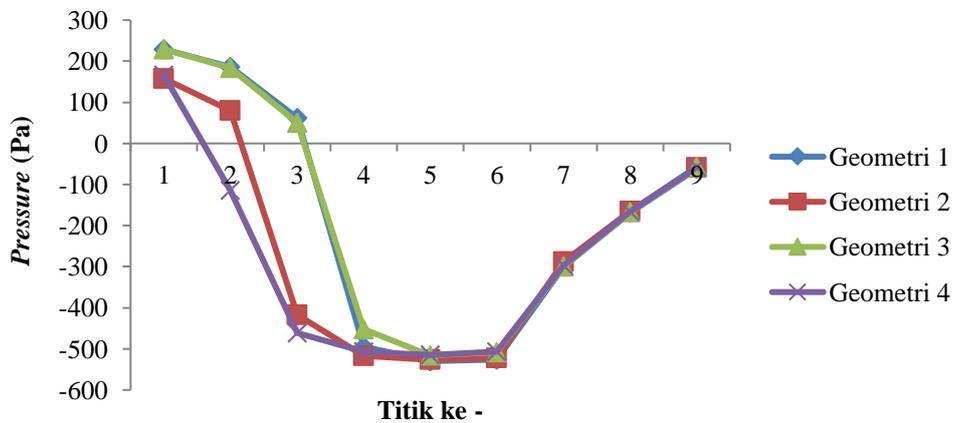
Variasi	Titik								
	1	2	3	4	5	6	7	9	9
1	228.67	186.25	61.424	-495.24	-529.78	-526.18	-298.9	-168.09	-60.45
2	157.75	79.87	-416.6	-517.30	-526.57	-522.17	-287.2	-165.17	-58.205
3	229.29	183.92	50.623	-452.23	-516.1	-508.24	-299.68	-167.05	-57.502
4	166.19	-113.95	-460.70	-506.41	-514.81	-506.58	-297.06	-165.96	-57.097

Dari data yang telah didapat melalui proses simulasi CFD menggunakan *software Ansys Fluid Flow (Fluent)*. Pada geometri *wind tunnel* pertama memiliki tekanan paling rendah pada titik lima sebesar -529.78 Pa dan tekanan tertinggi pada titik satu yaitu 228.67 Pa. Pada geometri *wind tunnel* ke dua memiliki tekanan paling rendah pada titik lima yaitu sebesar -526.57 Pa dan tekanan paling tinggi pada titik satu yaitu 157.75 Pa. Pada geometri *wind tunnel* ke tiga menghasilkan tekanan tertinggi pada titik lima yaitu sebesar -516.1 Pa dan tekanan tertinggi pada titik satu yaitu 229.29 Pa. Selanjutnya pada geometri empat menghasilkan tekanan tertinggi pada titik lima yaitu -514.81 Pa dan tekanan tertinggi pada titik satu yaitu 166.19 Pa.



Gambar 11. Kontur tekanan udara *wind tunnel*: (a) Variasi model 1, (b) Variasi model 2, (c) Variasi model 3 dan (d) Variasi model 4

Kontur tekanan pada geometri *wind tunnel* yang ditunjukkan oleh Gambar 11 (a) hingga (d) menjelaskan tentang bagaimana perbedaan tekanan bergerak dari *contraction* menuju *diffuser*. Pada keempat gambar tersebut dapat dilihat bahwa dari tekanan dari *contraction* semakin menurun sampai di area *test section*. Saat menuju *diffuser* tekanan udara perlahan meningkat. Menurut penelitian terdahulu [23], tekanan yang lebih besar pada *test section* dapat membuat aliran menjadi tidak stabil.



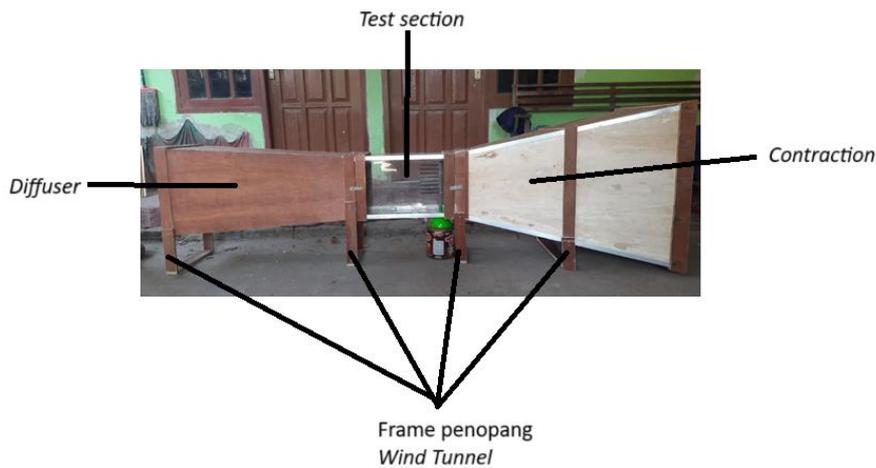
Gambar 12. Grafik tekanan udara di sembilan titik pengukuran

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dengan empat variasi geometri *wind tunnel* keempat variasi menunjukkan adanya perbedaan distribusi tekanan udara. Pada sembilan titik ukur yang memiliki penurunan tekanan paling besar dari keempat geometri berada pada titik area dari *test section*. Tekanan berangsur angsur naik saat memasuki area *diffuser*.

Menurut penelitian terdahulu [23] *diffuser* adalah untuk mengurangi kecepatan dengan kehilangan energi sesedikit mungkin pemulihan akibat penurunan tekanan maksimum di area *test section*. Desain *wind tunnel* pertama memiliki kecepatan yang konstan pada seksi uji dan desain *wind tunnel* keempat memiliki tekanan yang konstan pada seksi uji. Desain pertama dan keempat merupakan desain terbaik untuk *wind tunnel*, dari kedua desain lainnya jika dilihat dari grafik kecepatan dan tekanan pada ruang uji.

3.5 Pembuatan Purwarupa *Wind tunnel* dan Visualisasi Aliran Udara pada Benda Uji

Proses pembuatan purwarupa dilakukan secara berurutan dimulai dari pembuatan *contraction*, *test section* dan *diffuser*. Kayu triplek merupakan bahan utama untuk pembuatan *contraction* dan *diffuser*. Pada *test section* menggunakan bahan dari akrilik. Pemberian *frame* dan *quick release fastener* dilakukan untuk memberikan kekuatan, kekakuan dan kemudahan dalam proses sambungan antar bagian. Pada bagian bawah *test section* diberikan lubang untuk pipa asap dan lokasi pemasangan benda uji.



Gambar 13. Purwarupa *wind tunnel*

Visualisasi aliran udara disekitar benda uji menunjukkan hasil yang cukup baik. dari variasi geometri benda uji dapat disimulasikan dengan cukup baik. Terlihat aliran asap keluar dari pipa yang kemudian melawati benda uji.



Gambar 14. Aliran udara pada benda uji

Secara keseluruhan profil geometri benda memiliki peran yang sangat penting terhadap pola aliran udara. bagian *leading edge* atau bagian depan yang menerima aliran udara menentukan pola aliran udara yang akan melewati seluruh permukaan benda uji. Benda uji yang memiliki pola geometri yang melengkung cenderung memiliki pola aliran udara yang baik jika dibandingkan pada benda uji yang datar. Ini dapat dilihat pada pola aliran *airfoil*, lingkaran dan bola memiliki aliran yang lebih baik jika dibandingkan dengan pola aliran pada benda penampang segitiga, dan persegi.

Namun secara keseluruhan terjadi turbulensi dibelakang benda uji yang dapat menyebabkan gaya hambat atau *drag*. Untuk mengetahui besarnya gaya hambat atau *drag* pada benda uji, maka pada penelitian selanjutnya akan dilakukan pengujian gaya hambat atau *drag*.

4. Kesimpulan

Proses simulasi variasi desain *wind tunnel* menggunakan CFD dimulai dengan pemodelan, validasi model, dan running analisis. Hasil simulasi empat variasi desain *wind tunnel* menunjukkan adanya perbedaan distribusi tekanan udara yang signifikan pada sembilan titik ukur. Tekanan paling rendah dari keempat desain berada pada titik area dari *test section*. Tekanan berangsur angsur naik saat memasuki area *diffuser*. Kecepatan terbesar juga terjadi pada *test section*. Berdasarkan analisis data kecepatan dan tekanan yang terjadi pada ke empat variasi desain, pilihan desain *wind tunnel* yang akan dibuat adalah variasi desain 1.

Proses pembuatan purwarupa dilakukan secara berurutan dimulai dari pembuatan *contraction*, *test section* dan *diffuser*. Kayu triplek merupakan bahan utama untuk pembuatan *contraction* dan *diffuser*. Pada *test section* menggunakan bahan dari akrilik. Pemberian *frame* dan *quick release fastener* dilakukan untuk memberikan kekuatan, kekakuan dan kemudahan dalam proses sambungan antar bagian. Pada bagian bawah *test section* diberikan lubang untuk pipa asap dan lokasi pemasangan benda uji.

Hasil visualisasi benda uji bervariasi sesuai dengan bentuk penampang benda uji. Benda uji airfoil dan bola memiliki aliran yang *streamline* jika dibandingkan dengan benda uji penampang segitiga, lingkaran (tabung), dan persegi (kubus). Namun secara keseluruhan profil benda uji terjadi proses turbulensi pada bagian belakang benda uji. Pekerjaan yang akan dilakukan dipenelitian selanjutnya adalah menyempurnakan *smoke generator* dan pembuatan alat pengukur *drag* dan *lift*.

Daftar Pustaka

- [1] Ismail, Erlanda A.P. dan Reza Abdu Rahman, An open design for a low-cost open-loop subsonic wind tunnel for aerodynamic measurement and characterization. *HardwareX*. 2022 Oktober; 12 (e00352): pp. 1-15.
- [2] Jalaluddin, Saiful Akmal, Nasrul Z.A. dan Ishak, Analisa profil aliran fluida cair dan *pressure drop* pada pipa L menggunakan metode simulasi *computational fluid dynamic* (CFD). *Jurnal Teknologi Kimia*. 2019 Mei; 8 (01): pp. 97-109.
- [3] Herman Ferdinan Philip, Parlindungan Manik dan Ari Wibawa Budi Santosa, Analisa pengaruh panjang, letak dan geometri lunas bilga terhadap arah dan kecepatan aliran (*wake*) pada kapal ikan tradisioal (Studi kasus kapal tipe kragan). *Jurnal Teknik Perkapalan*. 2017 Januari; 5 (01): pp. 345-351.
- [4] Ainul Ghurri, Dasar-dasar mekanika fluida. Indonesia: Universitas Udayana; 2014. pp. 1-78.
- [5] Jazaul Ikhsan, Nursetiawan dan Puji Harsanto, Bahan ajar mekanika fluida dan hidrolika. Indonesia: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta; 2018. pp. 1-134.
- [6] Rachmat Subagyo dan Aqli Mursadin, Mekanika fluida II. Indonesia: Universitas Lambung Mangkurat; 2017. pp. 1-141.
- [7] Bruce R. Munson, Donald F. Young dan Theodore H. Okiishi, Mekanika fluida Edisi ke Empat Jilid 2. Indonesia: Erlangga; 2005. pp. 1-532.
- [8] Denny Dermawan, Rancang bangun alat ukur gaya pada *wind tunnel* menggunakan sensor *load cell*. *Prosiding Seminar Nasional ReTII ke-15*; 27 Oktober 2020. pp. 90-96.

- [9] A.S. Abdelhamed, Y. El-S. Yassen dan M.M. ElSakka, Design and optimization of a three-dimensional wind-tunnel contraction section. *Ain Shams Engineering Journal*. 2015 Maret; 6 (01): pp. 281-288.
- [10] Amat Chaeroni dan Agus Sugiharto, Analisa perancangan smoke tunnel portable sebagai alat visualisasi airflow wind tunnel. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*. 2022 September; VII (2): pp. 1-18.
- [11] Deny Darmawan, Analisis bilangan Reynold (Re) untuk menentukan jenis aliran fluida menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamic) sebagai rancangan bahan ajar di SMA. Indonesia: Universitas Jember; 2018.
- [12] Odenir de Almeida, Frederico Carnevalli de Miranda, Olivio Ferreira Neto dan Fernanda Guimaraes Saad, Low subsonic wind tunnel-Design and construction. *Journal of Aerospace Technology and Management*. 2018 Febuari; 10: pp. 1-20.
- [13] T. H. Young dan S.S. DoI, Design and development of low-cost wind tunnel for educational purpose. *Prosiding Technology Science and Engineering International Conference (CUTSE2014)*; 3-4 Desember 2014; Sarawak, Malaysia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2014. 78. pp. 1-11.
- [14] Ismail, Johanis Jhon, Erlanda A. Pane, Budhi M. Suyitno, Gama H. N. N. Rahayu, Damora Rhakasywi dan Agri Suwandi, Computational fluid dynamics simulation of the turbulence models in the tested section on wind tunnel. *Ain Shams Engineering Journal*. 2020 Desember; 11 (04): pp. 1201-1209.
- [15] Kashif Javed dan Mazhar Ali, Design & Construction of subsonic wind tunnel focusing on two dimensional contraction cone profile using sixth order polynomial. *Prosiding Scientific Cooperations International Workshops on Engineering Branches*; 8-9 Agustus 2014; Istanbul, Turki.
- [16] Elyas Nur Fridayana, Analisis kinerja aerodinamik dari vertikal axis wind turbine (VAWT) Darrieus tipe H-rotor dengan pendekatan computational fluid dynamic (CFD). Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh November; 2018.
- [17] Puji Rahayu, Dwi Kemala Putri, Rosalina dan Nita Indriyani. Pengaruh diameter pipa pada aliran fluida terhadap nilai head loss. *Jurnal Agitasi*. 2021 Desember; 2(2): pp. 2776–513.
- [18] Lukas Suryo, Buku ajar hidrolika. Indonesia.
- [19] Fernando Mellibovsky, Joana Prat, Emilio Notti dan Antonella Sala, Testing otter board hydrodynamic performances in wind tunnel facilities. *Ocean Engineering*. 2015 Agustus; 104: pp. 52-62.
- [20] Fernando Mellibovsky, Joana Prat, Emilio Notti dan Antonello Sala, Otterboard hydrodynamic performance testing in flume tank and *wind tunnel* facilities. *Ocean Engineering*. 2018 Febuari; 149: pp. 238-244.
- [21] Niladri Mandal, Manish Malpani dan K Rames Kumar, Wind tunnel model-Fabrication challenges. *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering (IJARME)*. 2011; 1 (02): pp. 22-25.
- [22] W. Zhu, Z. Zuo, D. Li, X Tian, M Luo, J Shang, D Li, X Ding, Y Sun, Z Zhang, B Zhang dan Z Zhang, Stiffness-similar models for wind tunne; test based on 3D printing. *Prosiding The 2020 Spring International Conference on Defence Technology*. *Journal of Physiscs: Conference Series*. 2020.
- [23] Weijun Zhu, Models for *wind tunnel* tests based on additive manufacturing technology. *Progress in Aerospace Sciences*. 2019 Oktober; 110: pp. 1-5.
- [24] Mark R. Melanson, Ming Chang dan Wendell M. Baker, Wind tunnel testing's future: A vision of the next generation of *wind tunnel* test requirements and facilities. *Prosiding 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition*; 4-7 Januari 2010; Florida, United States of America.